第 37 卷第 21 期
2017 年 11 月
生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.21
Nov.,2017

DOI: 10.5846/stxb201608161680

常兆丰，张进虎，石学刚，王祺，张德魁，段晓峰.沙漠植物分层侧影与积沙成丘的关系.生态学报,2017,37(21):7351-7358.

Chang Z F, Zhang J H, Shi X G, Wang Q, Zhang D K, Duan X F. Initial research on the relationship between sand-mound formation and the layered silhouette of desert plants. Acta Ecologica Sinica,2017,37(21):7351-7358.

沙漠植物分层侧影与积沙成丘的关系

常兆丰[1]，张进虎[1,*]，石学刚[2]，王　祺[1]，张德魁[1]，段晓峰[1]

1 甘肃省治沙研究所，兰州　730070

2 甘肃农业大学林学院，兰州　730070

摘要:选用民勤沙区常见的几种固沙植物,在民勤西沙窝沙漠边缘设置了 108 个植物和沙堆样方,通过对不同植物的分层侧影宽度、分层侧影面积和侧影中心等指标的测定和对比分析,得出如下结果:1)可积沙成丘植物的侧影为三角形或柱形,即由地面向上侧影宽度变小,侧影中心在近地面 30 cm 高度内,具备这一条件的植物为丛生灌木。而不能积沙成丘的植物侧影为菱形,侧影中心距地面高度在 30 cm 以上。2)风沙流以及沙尘暴中的沙粒主要集中在近地表 0—30 cm 高度内流动,这便是植物侧影越低,越易积沙成丘的重要原因之一。3)沙埋后茎秆能产生不定根的植物可形成高于植株几倍至数十倍高度的沙堆/沙丘,而不具备这一属性的植物,有些虽然能形成沙堆,但沙堆受植物高度限制,即沙堆高度不会超过植株高度。4)侧影面积大小是反映植物防风固沙功能的一个十分重要的指标,能积沙成丘是植物阻固流沙的物质体现,形成的沙堆越高大则表明植物阻固流沙的功能越强,但不能积沙成丘的植物如梭梭、沙拐枣、沙蒿等也是具有一定防风阻沙效果的。

关键词:沙漠植物;分层侧影;灌丛沙堆;积沙成丘;民勤沙区

Initial research on the relationship between sand-mound formation and the layered silhouette of desert plants

CHANG Zhaofeng[1], ZHANG Jinhu[1,*], SHI Xuegang[2], WANG Qi[1], ZHANG Dekui[1], DUAN Xiaofeng[1]

1 *Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou* 730070, *China*

2 *Gansu Agricultural University Forestry College, Lanzhou* 730070, *China*

Abstract: Some desert plants can accumulate sand into mounds and form nabkhas, whereas some cannot. The reason for the difference is unknown. To understand the difference, we selected several common sand-fixing plants in the Minqin desert area and collected 108 samples of these plants and sand from the mounds along the fringe of Minqin Xishawo. We measured and compared the layered silhouette width, the layered silhouette area, and the silhouette center of different plants. The results showed 1) the silhouette of plants that form sand mounds are triangular or cylindrical, which means the width of the silhouette becomes smaller from the ground to the top, and the silhouette center is within 30 cm from the ground. Plants with this characteristic are clumping shrubs. The silhouettes of plants that do not form sand mounds were diamond-shaped, and the silhouette center was 30 cm or more from the ground. 2) Sand particles in aeolian-sand flow and sandstorm flow were primarily concentrated within 0—30 cm above the surface, which was an important reason why the lower the plant silhouette, the more easily the nabkhas were formed. 3) Plants with stems that can produce adventitious roots after sand burial can form sand mounds or dunes, which are several to dozens of times higher than the plant itself. Although some plants do not produce adventitious root after sand burial, they can nonetheless form sand mounds or dunes; however, the

---

基金项目:国家自然科学基金(41361004);国家 973 前期(2014CB460611)

收稿日期:2016-08-16;　　**网络出版日期**:2017-07-11

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhangjinhu_100@163.com

height of the sand mound or dune will not be higher than the plant itself because of the limitation of the height of the plant itself. 4) The size of the silhouette was an important indicator that reflected its function as a windbreak and sand-fixing properties of the plant. The plant's ability to accumulate sand into a mound was the manifestation of the function of stopping and fixing mobile sand. Higher sand mounds reflected a stronger function in stopping and fixing mobile sand by the plant. However, plants that do not form sand mounds or dunes, such as *Haloxylon ammodendron*, *Calligonum mongolicum* and *Artemisia arenaria* etc., also can function in stopping and fixing mobile sands.

Key Words: desert plants; layered silhouette; nabkhas; accumulate sand into mound; Minqin desert area

在沙漠中经常可以看到大大小小的沙丘、沙堆,在这些沙丘、沙堆当中,有一部分是由于植物的阻挡截留流沙堆积形成的,如白刺沙丘/沙堆、柽柳沙丘/沙堆、麻黄沙堆等(图 1),由于灌丛的阻挡作用形成的沙堆一般统称为灌丛沙堆。



图 1 民勤绿洲边缘的灌丛沙堆

Fig.1 Nabkhas along the oasis edge in Minqin

国内外有关灌丛沙堆的研究报道有许多,主要包括其分布环境[1-5]、形态特征与演化[6-9]、生态学特性[10-16]等几个方面,而有关灌丛沙堆形成条件的研究较少。灌丛沙堆是干旱半干旱及半湿润荒漠地区风沙流遇到灌丛阻拦而堆积形成的一种地貌形态[3]。沙源供应的丰富程度对任何风积地貌都起着关键性作用,它影响灌丛沙堆的空间尺度和存活时间[3]。灌丛的类型和性质是灌丛沙堆形态塑造的重要因素,植被在灌丛沙堆形成中起关键作用。植被主要通过覆盖地表、分解风力和阻挡流沙 3 种形式改变近地面流场,从而使得沙物质在灌丛中沉积,而且可以保护其下的沙物质不被侵蚀。不同植被类型形成的沙堆形态不同,高大密集的灌丛具有更大的拦截能力[2-3]。新疆艾比湖周边灌丛沙堆主要发育于晚全新世,晚全新世以来艾比湖周边灌丛沙堆发育较普遍[17]。国外学者研究认为,灌丛沙堆的高度与灌丛高度有较好的相关性,而沙堆的长度则与整个灌丛的高度具有高度的相关[18]。草丛背风侧沙丘形态决定于草丛的宽度和沙堆的休止角,灌丛沙堆是在草丛背风侧有逆向气流的区域堆积形成的[19]。

植物的构型不同,阻截堆积流沙的能力不同。有关沙漠植物构型的研究报道不少[20-24]。普遍认为植被盖度、风力强度和沙源是控制灌丛沙堆形成的 3 个主要因素[2-3]。植物的挡风效应主要取决于植株迎风方向的侧影面积[21-24]。内蒙古高原荒漠草原区狭叶锦鸡儿和小叶锦鸡儿灌丛固沙能力的比较研究结果表明,沙堆底面积、沙堆高度、沙堆体积和固沙效率均与地上枝条鲜重呈显著线性正相关关系,沙堆高度与灌丛高度均呈显著线性正相关关系[6]。另外,有学者研究了科尔沁沙地 3 种沙蒿植株构型特征与防风固沙效应[24]。

以上关于灌丛沙堆的研究很少考虑沙堆的形成与植物构型的关系,而有关沙漠植物构型的研究却往往侧重于构型特征及其与环境条件的关系,亦即忽视了因植物不同构型而导致的不同结果—灌丛沙堆。如果说高大密集的灌丛具有更大的拦截能力[2-3],梭梭(*Haloxylon ammodendron* (C.A.Mey.) Bunge)在甘肃河西走廊沙区及民勤沙区为小乔木或大灌木,而其为何不能积沙成丘呢? 显然,简单地用植株高度和构型是不能揭示灌丛积沙成丘机理的。灌丛沙堆是植物阻截流沙的结果,是固沙植物固沙功能大小的具体体现。不同的植物构型必将形成或不形成不同的沙堆。那么,沙漠里生长的植物中,为什么有的植物能积沙成丘,而有的植物则不

能? 其反映了植物构形方面的什么特征呢? 这就是本文试图探讨的问题。

1　研究方法

研究区:民勤县位于中国西北干旱荒漠区,地处甘肃河西走廊东北侧石羊河流域下游的腾格里沙漠西缘(101°48′—104°13′E,38°05′—39°27′N)(图 2),土地面积为 16016km²。民勤县属于中国最典型的干旱荒漠化地区,据民勤县统计部门提供的资料,目前境内沙漠、戈壁、盐碱滩地和低山残丘占总土地面积的 94.2%。其中:沙漠面积占总面积的 55.03%,戈壁占总面积的 5.00%,荒漠草地占总面积的 34.13%。民勤县多年平均降水量 116.52 mm,蒸发量 2351.79 mm,年平均≥17 m/s 大风 28.2 d,沙尘暴 25.8 d,扬沙天气 37.8 d,浮尘天气 30.2 d。目前绿洲内部及其边缘地下水位已下降至 20m 左右。

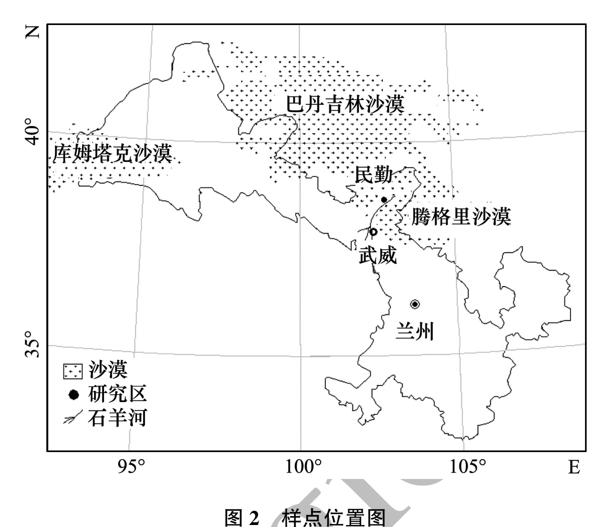


图 2　样点位置图

Fig.2　Location of sample points

研究方法:当地天然植被主要有白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr)、沙蒿(*Artemisia arenaria* DC. Prodr)、麻黄(*Ephedra przewalskii* Stapf)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa* Maxim)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum* Turcz)、柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb)等,人工植被主要是梭梭和毛条(*Caragana korshinskii* Kom),天然植被和人工林均为斑块状分布。在民勤西沙窝沙漠边缘,沿主风向(NW)和平行绿洲边缘设置两条样线,在样线上选取成年植株(株/丛),有沙堆的植被以沙堆为单位调查,无沙堆植被以植株为单位进行调查,共调查了 108 个植物和沙堆样方(表 1)。植被冠幅面积以其长轴和短轴计算的椭圆面积表示;沙堆盖度以其上的植被面积占沙堆面积百分比表示;投影盖度为扣除了空隙后的植被面积与样方面积的百分比,枝条间的空隙目测获得;分层侧影面积:即从主风向迎风面自地径处开始向上,将植株高度依次分为 10、30、50、100、150、200 cm 等若干高度层,于植株迎风面竖起立一直尺,测量各高度层侧影的宽度(最上一层不足该层高度时还需测量其实际高度)。侧影度即植物枝条所占侧影轮廓面积的百分比,用目估法获得,并于每株/丛植物迎风面竖起立一直尺拍照(图 3),然后运用 Auto CAD 勾画并计算出空隙的面积,以校准目估的侧影度。沙堆直接量取其长度,于长度垂直方向最宽处量取其宽度,测定沙堆最高点高度,以此表示沙堆特征。枝下高即为从地茎至最下一层枝条着生部位的高度。用下式计算各层侧影面积。

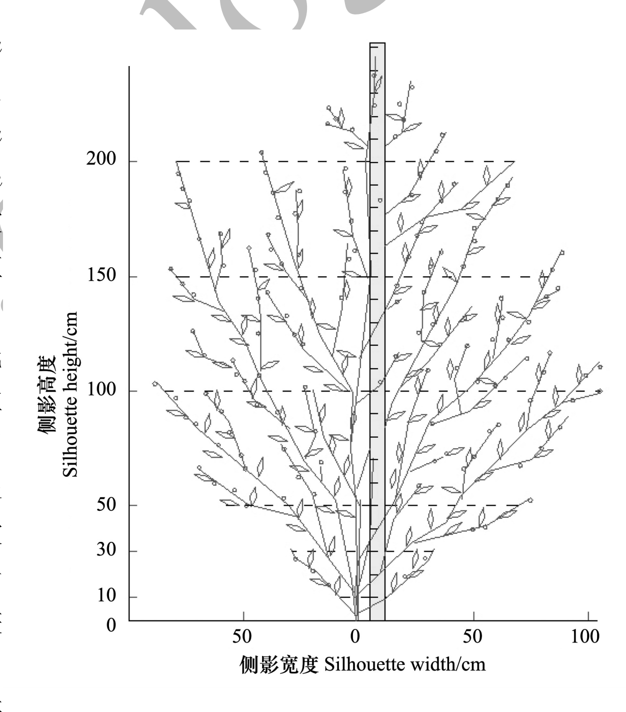


图 3　植株侧影观测示意图

Fig.3　The correlation coefficient between nabkhas and the height of under-branches of plants

$$该层侧影面积 = 该层梯形面积 \times (1 - 侧影度) \quad (1)$$

各高度层中,侧影面积最大层的中心高度即为侧影中心高度。数据分析采用 SPSS 13.0 完成。

2 结果分析

2.1 沙堆的形态特征

调查结果表明,在当地只有白刺、泡泡刺、柽柳、麻黄和沙生针茅(*Stipa glareosa* P. Smirn)5 种植物能积沙成堆,沙蒿、梭梭、沙拐枣和毛条等不能形成沙堆。

在调查的样点中,柽柳沙堆最高大,其次是白刺沙堆,再次是麻黄沙堆。即柽柳沙堆高 135—275 cm,平均高 193.6cm;白刺沙堆高 64—250 cm,平均高 135.5 cm;麻黄沙堆高 17—77cm,平均高 45.5 cm;泡泡沙堆高 15—48cm,平均高 28.8cm;沙生针茅沙堆高 5—15 cm,平均高 9.3cm。沙堆的长宽比麻黄最大(2.42),其次是沙生针茅(2.10),再次是泡泡刺(2.03),白刺沙堆和柽柳沙堆的长宽比很小。白刺沙堆大体呈圆形或椭圆形,麻黄沙堆和沙生针茅沙堆为长三角形,其他沙堆为不规则形状。

以上几种灌丛沙堆上的植被都十分单一,白刺沙堆和泡泡刺沙堆上的植被除背风坡外,顶部和其他三面几乎全覆盖,白刺的平均投影盖度 0.23,泡泡刺平均投影盖度 0.30;柽柳沙堆几乎是被植被全覆盖,背风坡下部少有裸露,植被平均投影盖度 0.52;麻黄沙堆和沙生针茅沙堆的植被覆盖位于沙堆上风向头部,其余部分裸露,麻黄平均投影盖度 0.70,沙生针茅平均投影盖度 0.34。其他几种无沙堆的植物平均投影盖度分别是:沙蒿 0.30,梭梭 0.44,沙拐枣 0.19,毛条 0.30(表 1)。从单株/丛植物投影盖度看,灌丛沙堆植被的平均投影盖度略高于无沙堆植被,但差异不显著($P>0.05$)。

表 1 植物及沙堆形态特征

Table 1 Plants and morphological characteristics of sandpile

种名 Species	沙堆或植物样方 Sandpile or Plant quadrats	沙堆 Sandpile 平均高 Height/m	平均长 Length/m	平均宽 Width/m	沙堆盖度 Coverage/%	投影盖度 Projective cover/%	沙堆形态 Sandpile shape	植被投影盖度 Vegetation projective cover(0—1)
白刺 *N. tangutorum*	17	135.5±12.9	863.8±84.8	565.7±53.2	0.51±0.1	0.10±0.0	圆或椭圆形	0.23±0.02
泡泡刺 *N. sphaerocarpa*	11	28.8±2.75	305.8±19.6	151.0±15.1	0.34±0.0	0.10±0.0	长斑块形	0.30±0.00
柽柳 *T. ramosissima*	7	193.6±19.6	1297.1±141.5	801.4±130.4	1.05±0.5	0.61±0.3	不规则堆形	0.52±0.07
麻黄 *E. przewalskii*	10	45.5±4.6	441.5±45.1	182.9±16.0	0.30±0.0	0.21±0.07	长三角形	0.70±0.01
沙生针茅 *S. glareosa*	7	9.3±1.4	74.1±12.5	35.3±9.0	0.34±0.0	0.11±0.0	长三角形	0.34±0.03
沙蒿 *A. arenaria*	12	0	0	0	0	0	(无沙堆)	0.29±0.06
梭梭 *H. ammodendron*	11	0	0	0	0	0	(无沙堆)	0.44±0.03
沙拐枣 *C. mongolicum*	17	0	0	0	0	0	(无沙堆)	0.19±0.01
毛条 *C. korshinskii*	16	0	0	0	0	0	(无沙堆)	0.30±0.03

2.2 主风向植物侧影

2.2.1 分层侧影

主风方向 0—10 cm 高度平均侧影宽度的排序是:柽柳>白刺>麻黄>泡泡刺>沙拐枣>毛条>梭梭>沙生针茅>沙蒿;10—30 cm 高度平均侧影宽度的排序是:柽柳>白刺>麻黄>泡泡刺>沙拐枣>毛条>梭梭>沙蒿>沙生针茅;30—50 cm 高度平均侧影宽度的排序是:柽柳>麻黄>沙拐枣>毛条>梭梭>白刺>泡泡刺>沙蒿;30—50 cm 高度平均侧影宽度的排序是:柽柳>麻黄>沙拐枣>毛条>梭梭>白刺>泡泡刺>沙蒿;50—100 cm 高度平均侧影宽度的排序是:柽柳>毛条>梭梭>沙拐枣>麻黄>沙蒿。

主风方向 0—10 cm 高度平均侧影度的排序是:梭梭>麻黄>柽柳>沙蒿>沙拐枣>毛条>沙生针茅>泡泡刺>白刺;10—30 cm 高度平均侧影度的排序是:麻黄>柽柳>梭梭>毛条>沙蒿>泡泡刺>白刺>沙拐枣>沙生针茅;30—50 cm 高度平均侧影度的排序是:麻黄>柽柳>梭梭>毛条>沙蒿>泡泡刺>沙拐枣>白刺>;50—100 cm 高度平均侧影度的排序是:柽柳>梭梭>麻黄>毛条>沙拐枣>沙蒿。

主风方向 0—10 cm 高度平均侧影面积的排序是:柽柳>白刺>麻黄>泡泡刺>梭梭>沙拐枣>毛条>沙生针

茅>沙蒿;10—30 cm 高度平均侧影面积的排序是:柽柳>麻黄>白刺>泡泡刺>梭梭>毛条>沙拐枣>沙蒿>沙生针茅;30—50 cm 高度平均侧影面积的排序是:柽柳>麻黄>毛条>梭梭>沙拐枣>泡泡刺>沙蒿>白刺;50—100 cm 高度平均侧影面积的排序是:柽柳>梭梭>毛条>麻黄>沙拐枣>沙蒿(图 4)。

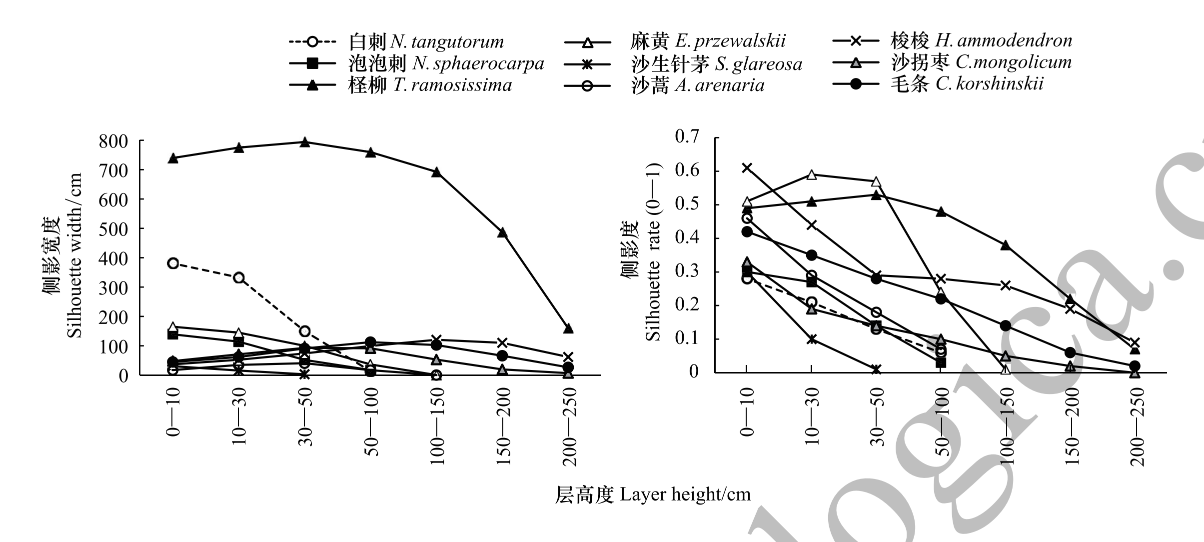


图 4　灌丛沙堆的植物及其侧影

Fig.4　Silhouette data of plants of nabkhas

由图 4 可见,柽柳、白刺、麻黄及泡泡刺近地面侧影宽度最大,而麻黄和柽柳的近地面侧影度较大(梭梭主杆较粗但近地面枝条稀少),柽柳、白刺、麻黄的近地面侧影面积亦较大;白刺、麻黄、泡泡刺和沙生针茅的侧影宽度从地面向上逐渐减小,柽柳、梭梭、毛条、沙拐枣和沙蒿的侧影宽度从地面向上为先增后减趋势;除麻黄和柽柳侧影度从地面向上为先增后减外,其他均为减小趋势;沙生针茅侧影面积在 0—10 cm 高度最大,麻黄、白刺和泡泡刺侧影面积在 10—30 cm 高度最大,沙蒿侧影面积在 30—50 cm 高度最大,而其他的均在 50—150 cm 高度最大。

2.2.2　侧影中心高度

在表 2 基础上,进一步计算每 10 cm 高度的侧影面积,结果显示:白刺、泡泡刺和沙生针茅的侧影中心在 0—10 cm 高度,麻黄的侧影中心在 10—30 cm 高度,柽柳的侧影中心在 30—50 cm 高度。而不能积沙成丘的植物的侧影中心均在 30 cm 高度以上,即沙蒿和沙拐枣的侧影中心在 50—100 cm 高度,毛条的侧影中心在 50—100 cm 高度,梭梭的侧影中心在 100—150 cm 高度(图 5)。

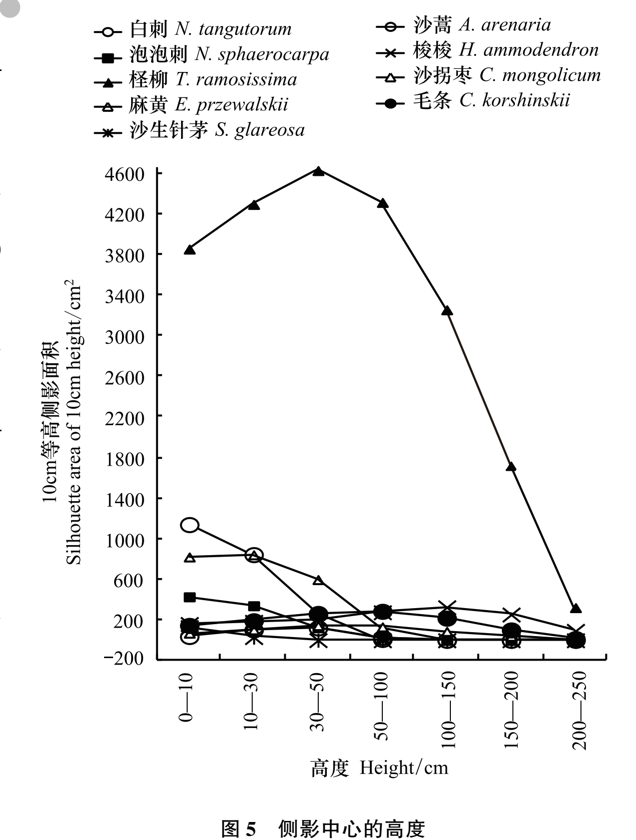


图 5　侧影中心的高度

Fig.5　Height of silhouette center

2.3　沙堆与植物侧影的关系

全部 115 个样点的分析结果显示,沙堆高度、沙堆宽度和沙堆长度与植物侧影宽度和侧影面积均为极显著正相关($P<0.01$);与植物 10—200 cm 高度的侧影度极显著正相关($P<0.01$),与 200—250 cm 高度的侧影度为显著正相关($P<0.05$);与植物侧影面积极显著正相关($P<0.01$)。相对而言,植物的侧影度与沙堆形态指标的相关性较弱(表 2)。

由表 3 可以看出:1)植物主风向侧影宽度均与沙堆高度、沙堆宽度和沙堆长度为极显著正相关($P<0.01$),植株地茎处的宽度与沙堆高度、沙堆宽度和沙堆长度为极显著正相关($P<0.01$)。从数值上看,沙堆宽度与植物侧影宽度的相关程度更大。2)从竖向看,沙堆高度、沙堆宽度和沙堆长度与植物侧影宽度越是靠近地面的相关系数越大,与植物侧影面积亦为越是靠近地面的相关系数越大。3)沙堆高度、沙堆宽度与植物侧影度越是接近植株中心高度(50 —100 cm)的相关系数越大,而与植株 200—250 cm 高度的侧影度为显著正相关($P<0.05$),与 0—10 cm 高度的侧影度不相关($P>0.05$),亦即植株上下两端的侧影度变化较大。4)从数值上看,在沙堆形态 3 个指标中,沙堆宽度与植物侧影面积的相关性更大。

沙堆高度、沙堆宽度和沙堆长度均与植株枝下高为极显著负相关($P<0.01$)(表 3)。

表 2 灌丛沙堆与侧影的相互关系

Table 2 The relationship between the silhouette and the sandpile

	沙堆 Sandpile	侧影高度 Silhouette height/cm							
		0	0—10	10—30	30—50	50—100	100—150	150—200	200—250
侧影宽度	沙堆高	0.95**	0.95**	0.93**	0.85**	0.75**	0.71**	0.65**	0.47**
Silhouette	沙堆宽	0.97**	0.96**	0.95**	0.88**	0.80**	0.76**	0.70**	0.52**
Width	沙堆长	0.90**	0.90**	0.88**	0.80**	0.70**	0.66**	0.63**	0.48**
侧影度	沙堆高		0.04	0.29**	0.43**	0.48**	0.40**	0.35**	0.24*
Silhouette	沙堆宽		0.05	0.31**	0.44**	0.50**	0.42**	0.38**	0.26*
degrees	沙堆长		0.04	0.33**	0.46**	0.47**	0.36**	0.34**	0.24*
侧影面积	沙堆高		0.90**	0.87**	0.80**	0.76**	0.72**	0.57**	0.49**
Silhouette area	沙堆宽		0.94**	0.92**	0.86**	0.83**	0.78**	0.63**	0.56**
	沙堆长		0.86**	0.83**	0.76**	0.71**	0.69**	0.57**	0.49**

* 表示显著水平($P<0.05$);** 表示极显著水平($P<0.01$)

表 3 灌丛沙堆与植物枝下高的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the nabkhas and height of the under branches of plants

	沙堆高 Sandpile height	沙堆长度 Sandpile length	沙堆宽度 Sandpile width
枝下高 Under branch height	-0.32**	-0.35**	-0.31**

* 表示显著水平($P<0.05$);** 表示极显著水平($P<0.01$)

3 讨论

由以上分析可知,可积沙成丘植物的侧影为三角形或柱形,即侧影宽度下大上小,侧影中心贴近地面。具备下宽上窄的三角形侧影的植物均为丛生灌木,亦即没有明显的主杆,如白刺、泡泡刺、麻黄和沙生针茅等,柽柳也为丛生灌木,其侧影大体呈柱形。而不能积沙成丘的植物的侧影则为菱形,即中间宽,上、下窄,侧影中心距地面有一定高度,如沙蒿、梭梭、沙拐枣、毛条等。有研究表明,在新疆沙拐枣积沙成丘[9],在乌兰布和沙漠白沙蒿(*A.sphaerocphala* Krasch.)可积沙成丘[7],在库布齐沙漠油蒿(*A. ordosica*)可积沙成丘[10],这可能与植物在当地的长势有关,民勤以及河西走廊沙区均有沙拐枣(*C. mongolicum*)和沙蒿(*A. arenaria*)分布,但这两种植物在当地一般是不能积沙成丘的,究其原因,可能是民勤沙区气候条件较上述地区更差,尤其是降水量少,这些植物在民勤沙区枝条更加稀疏所致。

灌丛沙堆高度是由其植物的属性决定的,即可产生不定根的灌丛/植物的沙堆可随着植物的逐渐增高,如白刺、柽柳、泡泡刺等,这类植物沙埋后可产生不定根,沙埋愈长,因而沙堆高大。而麻黄和沙生针茅虽然能积沙成丘,但其不产生不定根,因而沙堆高度受植物高度的限制。沙拐枣可产生不定根,但因其靠近地面枝条稀疏,侧影中心在 50—100 cm 高度,因而也不能积沙成丘。白刺沙堆、柽柳沙堆和泡泡刺沙堆除了北风坡植被较稀疏外,沙堆基本可被植被覆盖。而麻黄沙堆和沙生针茅沙堆为长三角形,植物位于上风向不到沙堆长度

1/5 的沙堆头部,其余部分裸露,这是为什么呢? 据笔者观测分析,这也是由植物能否产生不定根所决定的:白刺、柽柳枝条沙埋后可产生不定根,随着积沙、沙埋,灌丛增大,而麻黄和沙生针茅沙埋后不能产生不定根,受灌丛大小限制,沙堆不会增宽,而只能在灌丛下风向形成长三角形裸露沙堆。

据民勤治沙综合试验站的观测测定,风沙流中有 80%的沙粒在近地表 20—30 cm 的高度内流动,其中一半又在近地表 0.3—0.5 cm 的高度内流动。在 7m/s 的风速下,近地表 10 cm 高度内的输沙量占总输沙量的75%,76—200 cm 高度内的输沙量占总输沙量的 0.035%[25]。由此可见,风沙流(包括沙尘暴)中的沙粒主要集中在近地表流动,这便是植物侧影越低,越易积沙成丘的重要原因之一。结合植物的侧影和风沙流的垂直结构可见,0—10 cm 高度的侧影是积沙成丘的关键高度。由此还可进一步推测,该层的植株结构也代表了下一次沙埋后的植株结构。在美国新墨西哥州的南部的研究表明,灌丛沙堆一般形成于沙源下风向 1—6.5 km的地方[26]。沙源是沙堆形成的必要条件,但并不是充分条件,因为在同一局地环境,具有同样的沙源条件,白刺、柽柳、泡泡刺可形成沙堆,而沙蒿、沙拐枣不能形成沙堆。由此可见,沙堆的形成与沙源有一定关系,但这并不是主要的。另外,一般研究认为,戈壁风沙流是不饱和的[27],但在戈壁上有时也可见到白刺沙堆和柽柳沙堆。有学者指出,沙源丰富则沙堆体积较大,反之则较小[3],这只是相对于大致相同的植被条件和风力条件而言。有学者指出,灌丛沙堆水平尺度与高度的关系是划分其沙堆发育阶段的重要指标[28],这是从灌丛沙堆自身发育过程而言的。还有学者指出,灌丛沙堆是标志风蚀和土地退化的重要指标,在判定沙漠化方面有重要作用[29]。然而,灌丛形成的沙堆是植物截留、阻固流沙的物质体现。侧影,尤其是垂直主风向侧影面积大小则是反映植物防风固沙功能的一个十分重要的指标。那么,不能积沙成丘的植物是不是就不能防风固沙呢? 这显然是错误的。沙漠里生长的植物,有的虽然不能积沙成丘,但其有增加沙面覆盖度、阻挡沙漠近地表气流速度等作用。

由上述分析可见,植物的侧影,尤其是近地面 30 cm 高度内的侧影才是灌丛沙堆形成的要素之一,较之植被盖度是灌丛沙堆形成的 3 个主要因素之一[2-3]的结论更为准确;而形成灌丛沙堆较之于植物侧影面积的挡风效应[21-24]的结论更深入了一步。由于灌丛沙堆表面一般无土壤结皮,因而可贮存降水,有利于植物生长。部分灌丛沙堆植被退化后,如果具备新月形沙丘形成的环境条件和沙源条件,可能会过渡为新月形沙丘。灌丛沙堆会不会是新月形沙丘雏形,这是一个尚待进一步研究的问题。

4　结论

可积沙成丘植物的侧影为三角形或柱形,即由地面向上侧影宽度变小,侧影中心在近地面 30 cm 高度内,具备这一条件的植物为丛生灌木。而不能积沙成丘的植物侧影为菱形,侧影中心距地面高度在 30 cm 以上。

风沙流以及沙尘暴中的沙粒主要集中在近地表 0—30 cm 高度内流动,这便是植物侧影越低,越易积沙成丘的重要原因之一。

沙埋后茎秆可产生不定根的植物可形成高于植株几倍、数十倍高度的沙堆/沙丘,而不具备这一属性的植物,有些虽然能形成沙堆,但沙堆受植物高度限制,即沙堆高度不会超过植株高度,也由此决定了沙堆的形状。

侧影是植物构型的重要特征之一。侧影面积大小是反映植物防风固沙功能的一个十分重要的指标,能积沙成丘是植物阻固流沙的物质体现,形成的沙堆越高大则表明植物阻固流沙的功能越强,但不能积沙成丘的植物也是具有一定防风效果的。

参考文献(References):

[1] 杜建会, 严平, 董玉祥. 干旱地区灌丛沙堆研究现状与展望. 地理学报, 2010, 65(3): 339-350.

[2] 武胜利, 李志忠, 肖晨曦, 孙秋梅, 刘丽梅. 灌丛沙堆的研究进展与意义. 中国沙漠, 2006, 26(5): 734-738.

[3] 岳兴玲, 哈斯, 庄燕美, 张军. 沙质草原灌丛沙堆研究综述. 中国沙漠, 2005, 25(5): 738-743.

[4] 杜建会, 严平, 俄有浩. 甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1165-1170.

[5] 彭飞, 王涛, 刘立超, 黄翠华. 民勤荒漠绿洲过渡带白刺灌丛沙堆演化阶段及其空间格局. 中国沙漠, 2012, 32(3): 593-599.

[6] 韩磊，张媛媛，马成仓，高玉葆. 狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)灌丛沙堆形态发育特征及固沙能力. 中国沙漠，2013，33(5)：1305-1309.

[7] 高永，党晓宏，虞毅，汪季，王珊，原伟杰，张惜伟. 乌兰布和沙漠东南缘白沙蒿(*Artemisia sphaerocphala*)灌丛沙堆形态特征与固沙能力. 中国沙漠，2015，35(1)：1-7.

[8] 王乐，李改欣，王仁德，常春平，彭帅. 半干旱区农田灌丛沙堆形态及沉积特征. 水土保持研究，2014，21(1)：76-80.

[9] 毛东雷，雷加强，薛杰. 新疆策勒砾质戈壁沙拐枣(*Calligonum*)灌丛沙堆形态特征. 干旱区资源与环境，2015，29(5)：105-110.

[10] 张萍，哈斯，吴霞，杨一，杜会石. 单个油蒿灌丛沙堆气流结构的野外观测研究. 应用基础与工程科学学报，2013，21(5)：881-889.

[11] 张玮，韩磊，解李娜，李清芳，马成仓. 不同生境狭叶锦鸡儿灌丛沙堆的土壤微生物数量、养分含量及酶活性的比较研究. 天津师范大学学报：自然科学版，2014，34(4)：68-71.

[12] 杜建会，严平，丁连刚，俄有浩，朱孟郡. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究. 中国沙漠，2009，29(2)：248-253.

[13] 杜建会，严平，展秀丽，俄有浩. 民勤绿洲白刺灌丛沙堆不同演化阶段表面抗蚀性及其影响因素. 应用生态学报，2008，19(4)：763-768.

[14] 安晶，哈斯，杜会石，杨一，张平. 内蒙古高原小叶锦鸡儿灌丛沙堆对气流结构与风蚀的影响. 干旱区研究，2015，32(2)：304-312.

[15] 韩章勇，王雪芹，杨帆，马洋. 策勒绿洲—沙漠过渡带两个建群种阻沙能力对比研究. 干旱区研究，2013，30(4)：659-665.

[16] 马全林，卢琦，魏林源，靳虎甲. 干旱荒漠白刺灌丛植被演替过程土壤种子库变化特征. 生态学报，2015，35(7)：2285-2294.

[17] 靳建辉，曹相东，李志忠，陈秀玲，胡凡根，夏菁，王贤立. 艾比湖周边灌丛沙堆风沙沉积记录的气候环境演化. 中国沙漠，2013，33(5)：1314-1323.

[18] Tengberg A，Chen D L. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. Geomorphology，1998，22(2)：181-192.

[19] Hesp P A. The formation of shadow dunes. Journal of Sedimentary Research，1981，51(1)：101-112.

[20] 王丽娟，孙栋元，赵成义，李菊艳，盛钰. 准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征. 生态学报，2011，31(17)：4952-4960.

[21] 屈志强，刘连友，吕艳丽. 沙生植物构型及其与抗风蚀能力关系研究综述. 生态学杂志，2011，30(2)：357-362.

[22] 张琳琳，赵晓英，原慧. 风对植物的作用及植物适应对策研究进展. 地球科学进展，2013，28(12)：1349-1353.

[23] 孙栋元，赵成义，王丽娟，盛钰，李菊艳. 荒漠植物构型研究进展. 水土保持研究，2011，18(5)：281-287.

[24] 苏日格嘎，王铁娟，孙海玉，员艳丽，杜俊瑞. 科尔沁沙地三种沙蒿植株构型特征与防风固沙效应研究. 内蒙古大学学报：自然科学版，2015，46(3)：270-276.

[25] 甘肃省民勤治沙综合试验站. 甘肃沙漠与治理. 兰州：甘肃人民出版社，1975.

[26] Langford R P. *Nabkha* (coppice dune) fields of south-central New Mexico，U.S.A. Journal of Arid Environments，2000，46(1)：25-41.

[27] 殷代英，屈建军，俎瑞平，谭立海，安志山，肖建华，缑倩倩. 不同扰动方式对沙砾质戈壁地表风蚀量的影响. 中国沙漠，2014，34(1)：1-8.

[28] Wang X，Wang T，Dong Z，Liu X，Qian G. *Nebkha* development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. Journal of Arid Environments，2006，65(1)：129-141.

[29] Tengberg A. *Nebkha* dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. Journal of Arid Environments，1995，30(3)：265-282.